

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-213935

(43)Date of publication of application : 06.08.1999

(51)Int.Cl. H01J 37/317  
G01N 1/28  
G01N 1/32  
H01J 37/28  
H01L 21/66

(21)Application number : 10-013945

(71)Applicant : JEOL LTD

(22)Date of filing : 27.01.1998

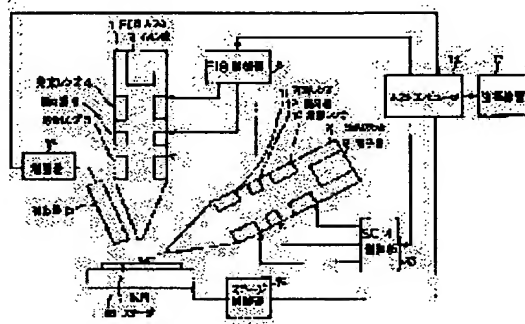
(72)Inventor : ISHIMOTO TORU

## (54) SAMPLE CROSS-SECTION OBSERVING METHOD IN FIB-SEM DEVICE AND FIB-SEM DEVICE

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To realize a sample cross-section observing method in a FIB(focused ion beam)-SEM(inline-type scanning electron microscope) device and the FIB- SEM device, enabling a sample worked by a FIB to be observed with sufficient contrast with good resolution, and without taking it out of the device, by a scanning electron microscope.

**SOLUTION:** An ion beam is generated from an ion gun 3 in a FIB column 1, and a sample 7 is worked by applying the ion beam to the sample. After an opening is formed by the work, a stage 18 is 180° rotated, and further, the stage 18 is inclined greatly. By the rotation and inclination of the stage 18, a cross-section part D of the opening 20 of the sample 7 can be caused to face the FIB column 1. In this state, the amount of current of the ion beam applied to the sample 7 is reduced. As a result, a cross-section surface layer can be worked longitudinally on the order of nm at the cross-section part to be worked of the sample. After such surface treatment is conducted, a SEM image of the worked cross-section part of the sample is observed.



(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-213935

(43)公開日 平成11年(1999) 8月6日

(51)Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	F I	
H 0 1 J 37/317		H 0 1 J 37/317	D
G 0 1 N 1/28		G 0 1 N 1/32	B
	1/32	H 0 1 J 37/28	B
H 0 1 J 37/28		H 0 1 L 21/66	J
H 0 1 L 21/66		G 0 1 N 1/28	G
審査請求 未請求 請求項の数6 OL (全 6 頁)			

(21)出願番号 特願平10-13945

(22)出願日 平成10年(1998) 1月27日

(71)出願人 000004271

日本電子株式会社

東京都昭島市武蔵野3丁目1番2号

(72)発明者 石本 透

東京都昭島市武蔵野三丁目1番2号 日本  
電子株式会社内

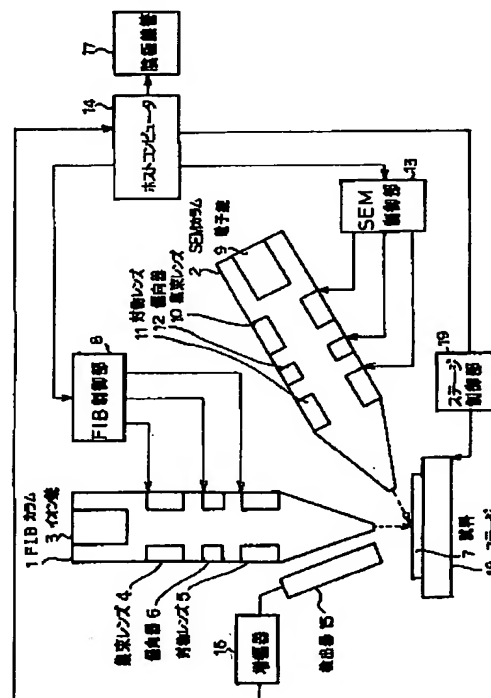
(74)代理人 弁理士 井島 藤治 (外1名)

(54)【発明の名称】 FIB-SEM装置における試料断面観察方法およびFIB-SEM装置

(57)【要約】

【課題】 FIB加工した試料を装置の外に取り出すことなく、十分なコントラストで解像度良く走査電子顕微鏡により観察することができるFIB-SEM装置における試料断面観察方法およびFIB-SEM装置を実現する。

【解決手段】 FIBカラム1内のイオン銃2からイオンビームを発生させ、イオンビームを試料7に照射して試料を加工する。この加工により開口を形成した後、ステージ18を180°回転させ、更にステージ18を大きく傾斜させる。このステージの回転と傾斜により、試料7の開口20の断面部分DをFIBカラム1に対面させることができる。この状態で試料7に照射するイオンビームの電流量を減少させる。この結果、試料の加工断面部分では、nm単位で断面表層の縦方向への加工を行うことができる。このような表面処理を行った後、試料の加工断面部分のSEM像を観察する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 試料に集束イオンビームを照射する機能と、集束イオンビームによって加工された試料断面に電子ビームを照射して走査電子顕微鏡像を観察することができるSEM機能とを備えたFIB-SEM装置において、比較的大きな電流量のイオンビームを試料に照射して試料をエッチングして加工し、加工後試料を回転と傾斜させて加工断面をイオンビームに対面させ、加工断面に比較的小さな電流量のイオンビームを照射し、その後試料を回転と傾斜させて加工断面の走査電子顕微鏡像を観察するようにしたFIB-SEM装置における試料断面観察方法。

【請求項2】 試料のエッチング加工後の加工断面上でイオンビームを走査し、この走査に基づいて得られた信号によりSIM像を観察するようにした請求項1記載のFIB-SEM装置における試料断面観察方法。

【請求項3】 加工断面に比較的小さな電流量のイオンビームを照射する際、イオンビームを所定領域で走査させ、この走査を所定領域の上から下、下から上に双方向に走査するようにした請求項1記載のFIB-SEM装置における試料断面観察方法。

【請求項4】 比較的大きな電流量のイオンビームを試料に照射して試料をエッチングして加工し、加工後試料を180°回転させ、比較的大きな角度傾斜させて加工断面をイオンビームに対面させるようにした請求項1記載のFIB-SEM装置における試料断面観察方法。

【請求項5】 試料に集束イオンビームを照射する機能と、集束イオンビームによって加工された試料断面に電子ビームを照射して走査電子顕微鏡像を観察することができるSEM機能とを備えたFIB-SEM装置において、集束イオンビームの電流量を比較的大きな電流量と比較的小さな電流量に切り換える手段と、試料を回転、傾斜させる手段と、比較的大きな電流量のイオンビームを試料に照射して試料をエッチングして加工し、加工後試料を回転と傾斜させて加工断面をイオンビームに対面させ、加工断面に比較的小さな電流量のイオンビームを照射する機能とを有したFIB-SEM装置。

【請求項6】 試料の回転と傾斜によってもイオンビームと電子ビームの照射領域が変化しない機能を備えた請求項5記載のFIB-SEM装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、試料に集束イオンビームを照射して加工し、その加工断面を走査電子顕微鏡機能で観察するようにしたFIB-SEM装置における試料断面観察方法およびFIB-SEM装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 集束イオンビーム(FIB-Focused Ion Beam)装置は、イオン源からのイオンビームを細く集

束し、加工試料に照射して試料をエッチング等により加工する装置である。このFIB装置の応用分野の中でも、特にFIBによるエッチング技術は、かなりポピュラーなものとなってきている。

【0003】 この技術を用いたFIB装置は、マイクロマシン加工はもとより、半導体デバイスの不良解析や透過電子顕微鏡試料の作成に広く利用されている。特に最も注目されている半導体デバイスの3次元解析としては、もはや不可欠の装置となりつつある。また、現在では、従来のインライン型走査電子顕微鏡(SEM)装置にFIB機能を付加したデュアルビーム(Dual Beam-DB)装置も徐々にではあるが普及しつつある。

【0004】 DB装置は、半導体の不良解析装置として対応すべく、従来までのFIB装置としてエッチング加工した後、SEM装置へ試料を移して観察するといった工程を一台で行える複合装置である。

【0005】 これは、通常のFIB単能機と同様に、試料上面にイオンビームを照射して、任意の場所をエッチング加工し、加工終了後、試料の移動なしにすぐにそのエッチング加工された断面をSEM像で観察できるという利点を有している。その結果、不良解析に絶大な威力とその工程の時間の短縮、それに伴う歩留まり管理とその速度、また、複合装置ゆえの床面積の縮小、価格のダウン等が期待されており、今後ますます普及が進むと予想される。

【0006】 上記したFIB-SEM装置の構成は、大きく分けてFIB制御部、SEM制御部、試料を載せたステージの制御部からなり、それぞれをホストコンピュータにより制御している。この装置では、通常、試料の垂直方向の上からイオンビームを当ててエッチングし、その穴の断面に試料面から30°の角度で電子ビームを当てて、その断面の構造を観察している。イオンビームで加工されたサンプルは、試料面に垂直な断面を作り、その断面は、イオンビームの電流量、プローブ径に依存するが、ほとんど試料面に垂直に切り出される。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】 ところが、上記したFIB-SEM装置では、断面像を電子ビームによって観察したときに、切り出した直後の断面は余りにフラットであるために、2次電子像では十分なコントラストが得られず、解像度が悪くなる欠点を有している。また、電子ビームによる観察では、試料によっては、切り出された断面が、走査電子顕微鏡観察によるコンタミネーション付着等によって汚れ、同様に解像度が低下してしまう。

【0008】 このため、上記のようなフラットな断面の像を走査電子顕微鏡において解像度良く観察するための一般的な手法として、試料を劈壊したり、FIB加工した試料に化学処理(ウエットエッチング等)を施し、各種材料の間に段差を作りだし、そのエッジからの2次電

子放出効率を向上させることにより、化学処理後の走査電子顕微鏡像のコントラストを向上させることなどが知られている。

【0009】しかしながら、これらの処理を行うためには、FIB加工後、一度試料を装置の外に取り出すことが必要になり、また、このことによって再度試料を装置に入れたときに、加工場所を突き止めるのに非常に手間が掛かってしまい、多くの工程と時間を費やすことは歴然である。更に、目的の試料が8インチウエハ等の大きなものである場合、その試料を小さなチップに切り出す必要も生じる。

【0010】本発明は、このような点に鑑みてなされたもので、その目的は、FIB加工した試料を装置の外に取り出すことなく、十分なコントラストで解像度良く走査電子顕微鏡により観察することができるFIB-SEM装置における試料断面観察方法およびFIB-SEM装置を実現するにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】第1の発明に基づくFIB-SEM装置における試料断面観察方法は、試料に集束イオンビームを照射する機能と、集束イオンビームによって加工された試料断面に電子ビームを照射して走査電子顕微鏡像を観察することができるSEM機能とを備えたFIB-SEM装置において、比較的大きな電流量のイオンビームを試料に照射して試料をエッチングして加工し、加工後試料を回転と傾斜させて加工断面をイオンビームに対面させ、加工断面に比較的小きな電流量のイオンビームを照射し、その後試料を回転と傾斜させて加工断面の走査電子顕微鏡像を観察するようにしたことを特徴としている。

【0012】第1の発明では、比較的大きな電流量のイオンビームを試料に照射して試料をエッチングして加工し、加工後試料を回転と傾斜させて加工断面をイオンビームに対面させ、加工断面に比較的小きな電流量のイオンビームを照射し、その後試料を回転と傾斜させて加工断面の走査電子顕微鏡像を観察する。

【0013】第2の発明では、第1の発明において、試料のエッチング加工後の加工断面上でイオンビームを走査し、この走査に基づいて得られた信号によりSIM像を観察するようにした。

【0014】第3の発明では、第1の発明において、加工断面に比較的小きな電流量のイオンビームを照射する際、イオンビームを所定領域で走査させ、この走査を所定領域の上から下、下から上に双方向に走査するようにした。

【0015】第4の発明では、第1の発明において、比較的大きな電流量のイオンビームを試料に照射して試料をエッチングして加工し、加工後試料を180°回転させ、比較的大きな角度傾斜させて加工断面をイオンビームに対面させるようにした。

【0016】第5の発明に基づくFIB-SEM装置は、試料に集束イオンビームを照射する機能と、集束イオンビームによって加工された試料断面に電子ビームを照射して走査電子顕微鏡像を観察することができるSEM機能とを備えたFIB-SEM装置において、集束イオンビームの電流量を比較的大きな電流量と比較的小きな電流量に切り換える手段と、試料を回転、傾斜させる手段と、比較的大きな電流量のイオンビームを試料に照射して試料をエッチングして加工し、加工後試料を回転と傾斜させて加工断面をイオンビームに対面させ、加工断面に比較的小きな電流量のイオンビームを照射する機能とを有したことを特徴としている。

【0017】第5の発明では、比較的大きな電流量のイオンビームを試料に照射して試料をエッチングして加工し、加工後試料を回転と傾斜させて加工断面をイオンビームに対面させ、加工断面に比較的小きな電流量のイオンビームを照射し、その後試料を回転と傾斜させて加工断面の走査電子顕微鏡像を観察する。

【0018】第6の発明では、第5の発明において、試料の回転と傾斜によってもイオンビームと電子ビームの照射領域が変化しない機能を備えた。

【0019】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。図1は、本発明に基づくFIB-SEM装置を示しており、1はFIBのカラム、2はSEMのカラムである。FIBカラム1の中には、イオン銃3と、イオン銃3から発生し加速されたイオンビームを集束する集束レンズ4、対物レンズ5、イオンビームを2次元的に走査するための偏向器6が設けられている。なお、イオンビーム用の集束レンズ4、対物レンズ5は主に静電レンズが使用される。

【0020】イオン銃3から発生したイオンビームは、集束レンズ4、対物レンズ5によって試料7上に細く集束されると共に、試料7に照射されるイオンビームの照射位置は、偏向器6によって走査できるように構成されている。これら集束レンズ4、対物レンズ5、偏向器6はFIB制御部8によって制御される。

【0021】例えば、試料7に照射されるイオンビームの電流量を変化させる場合には、FIB制御部8によって集束レンズ4、対物レンズ5を制御し、各レンズの強度を制御してイオンビームの集束度合いを変化させ、イオンビームの光路中に設けられた絞り（図示せず）を通過するイオンビームの量を制御する。また、イオンビームを試料上で2次元的あるいはライン状に走査する場合には、FIB制御部8から偏向器6に走査信号が供給される。

【0022】SEMカラム2の中には、電子銃9と、電子銃9から発生した電子ビームを集束する集束レンズ10、対物レンズ11、電子ビームを2次元的に走査するための偏向器12が設けられている。なお、電子ビーム

用の集束レンズ10、対物レンズ11は主に電磁レンズが使用される。

【0023】電子銃9から発生した電子ビームは、集束レンズ10、対物レンズ11によって試料7上に細く集束されると共に、試料7に照射される電子ビームの照射位置は、偏向器12によって走査できるように構成されている。これら集束レンズ10、対物レンズ11、偏向器12はSEM制御部13によって制御される。

【0024】例えば、試料7に照射される電子ビームの電流量を変化させる場合には、SEM制御部13によって集束レンズ10、対物レンズ11を制御し、各レンズの強度を制御して電子ビームの集束度合いを変化させ、電子ビームの光路中に設けられた絞り（図示せず）を通過する電子ビームの量を制御する。また、電子ビームを試料上で2次元的あるいはライン状に走査する場合には、SEM制御部13から偏向器12に走査信号が供給される。なお、SEM制御部13とFIB制御部8は、ホストコンピュータ14によってコントロールされる。

【0025】試料7への電子ビームあるいはイオンビームの照射によって試料から発生した2次電子は、2次電子検出器15によって検出される。検出器15によって検出された信号は、増幅器16によって増幅された後、ホストコンピュータ14を介して陰極線管17に供給される。

【0026】試料7はステージ18上に載せられている。ステージ18はステージ制御部19により、水平方向の2次元移動、回転、傾斜ができるように構成されている。ステージ制御部19は、ホストコンピュータ14によってコントロールされる。このような構成の動作を次に説明する。

【0027】まず、FIBによる試料7の加工が行われる。この試料の加工は、FIBカラム1内のイオン銃3からイオンビームを発生させ、このイオンビームを集束レンズ4、対物レンズ5によって試料7上に細く集束すると共に、イオンビームを偏向器6によってライン状に走査する。この際、試料ステージ18をイオンビームのライン状の走査の方向と垂直な方向に移動させる。

【0028】図2はこの様子を示しており、試料7は矢印Sの逆方向にゆっくりと移動させられ、その間、イオンビームIBは紙面に垂直の方向にライン状に走査される。この時、イオンビームIBの電流量は、大きな加工レートを保つために、例えば、1000pA程度とされている。この結果、試料7には矩形状の開口20が穿たれる。この開口20の深さは、イオンビームの電流量、イオンビームの走査速度、試料の移動速度による。

【0029】通常のFIB-SEM装置においては、試料7に対する開口20の形成後、断面部分Dに対してSEMカラム2から電子ビームEBを照射すると共に、断面部分Dで電子ビームを2次元的に走査する。この走査に基づいて断面部分Dから発生した2次電子は、2次電

子検出器15によって検出される。この検出信号は、陰極線管17に供給されることから、陰極線管17には断面部分Dの走査電子顕微鏡像が得られる。

【0030】さて、このような従来からの通常の動作では、断面部分Dはフラットであるために、十分なコントラストの解像度の良い2次電子像を得ることはできないことは前に述べた。本発明においては、図2で示したようなイオンビームの加工により開口20を形成した後、ステージ制御部19によりステージ18を制御し、ステージ18を180°回転させ、更にステージ18を大きく（例えば60°）傾斜させる。

【0031】この状態を図3に示す。このステージの回転と傾斜により、試料7の開口20の断面部分DをFIBカラム1に対面させることができる。すなわち、加工断面部分Dに垂直に近い方向からイオンビームを照射することができる。この状態でFIB制御部8からFIBカラム1を制御し、集束レンズ4と対物レンズ5を制御して試料7に照射するイオンビームの電流量を減少させる。この電流量は、例えば、数pA程度とされる。

【0032】この状態で偏向器6により試料の断面部分DでイオンビームIBを2次元的に短時間走査（例えばテレビジョン走査速度）する。この結果、試料の断面部分Dでは、nm単位で断面表層の縦方向への加工を行うことができる。この場合、断面にある各種の半導体材料は、その材質により同じ電荷を与えると、その結晶の結合力の違いにより、エッチングされる速度が異なるため、材料の違いによる段差ができることになる。

【0033】つまり、加工した試料を装置から取り出して、試料断面表層を化学処理を施したと同様の処理を、試料を装置から取り出すことなく、また、化学薬品等を使用せず、任意の場所において、短時間に行うことができる。なお、この場合、弱い電流量のイオンビームを試料に照射しながら、選択性のあるガスを導入すれば、より化学処理したものと同等の断面を得ることができる。

【0034】このようなプロセスにおける試料の観察断面の深さ方向の制御としては次ぎの3つの方式を適宜実行することができる。第1の方式は試料面に当てるイオンビーム電流量を一定とし、イオンビームの走査速度をテレビジョン走査速度とゆっくりとしたスロー速度を選ぶことにより、微細な深さ方向の加工制御を行う方式である。

【0035】テレビジョン走査モードでは、数nmのエッチングにより、試料表面のクリーニングを行う。また、スローモードでは、試料表面を数十～数百nmを加工し、画像を観察しながら、断面を垂直に剥がしていくことにより、試料深く埋まっているであろう欠陥等を確実に見つけることができる。

【0036】第2の方式は、試料断面に当てるイオンビーム電流量を数pA～数十pAと選択することにより、加工の深さを制御する方式である。第3の方式は、イオ

ンビームを走査する方向を通常の上から下への一方向ではなく、上から下、下から上への双方向に走査を行うことにより、エッチングされる面の深さが上から下まで一定になるようにする制御する方式である。

【0037】このようなイオンビームによる2次的な試料表面処理を行った後、加工断面Dを走査電子顕微鏡カラム2に対面させる。この操作は、試料ステージ18を回転・傾斜させて行う。この操作により、試料7は、例えば、図1に示すような位置関係とされ、加工断面DはSEMカラム2からの電子ビームEBにより2次元的に走査されることになる。

【0038】この電子ビームの走査により得られた2次電子に基づいて観察する試料断面の像は、FIB加工直後に比べ、非常にコントラストの強調された走査電子顕微鏡画像となる。このような動作により、試料の任意の場所に、任意の範囲に、任意の深さだけ表面の仕上げを行うことができ、試料断面の解像度の改善だけではなく、断面から数nmの深さに埋まっているであろう異物（不良解析の場合）なども掘り出すことが可能となる。

【0039】なお、FIBにより試料の加工を行った後、加工断面Dの微細な深さ方向の加工制御を行う場合、電流量の極めて弱いイオンビームを加工断面Dにおいて走査し、その際に発生した2次電子を2次電子検出器で検出し、加工断面DのSIM像を得、このSIM像から微細な深さ方向の加工制御を行う領域の指定を行うことは有効である。

【0040】上記したプロセスを「ソフトエッチング機能」としてFIB-SEM装置に付加した場合、具体的な動作シーケンスは次の通りとなる。

①FIB加工後にSEM像の観察を行い、必要があれば、「ソフトエッチング機能」のボタンを押す。

②ステージの回転と傾斜が行われ、SEM像を観察していた加工断面DがFIBカラム1に対面し、FIB観察モードに切り替わる。

③弱いイオンビームを走査してSIM像を観察して領域の設定を行い、ソフトエッチングの開始をホストコンピュータから指示すると、スローまたはテレビジョン走査の速さでFIBが画面を上から下、下から上と交互に走査する。

④再び、SEM観察モードに戻すボタンを押す、ステージの回転と傾斜を行って、SEM観察モードにして断面処理後のSEM像を観察する。

【0041】なお、FIBで試料を加工して開口を形成した後、加工断面DをFIBカラム1に対面させる場合、試料の回転と傾斜によって加工場所Dが観察視野から逃げないように、コンピュータによってステージを制御するユーセントリック機能を有することは必要である。この機能により、SIMとSEMの観察機能を位置ずれなしに切り替えることができる。

【0042】また、FIBカラムとSEMカラムの機械

的な軸合わせおよび電氣的制御と試料面高さの制御により、イオンビームと電子ビームとが試料の同一観察点を照射可能とされている。

【0043】以上本発明の実施の形態を詳述したが、本発明はこの形態に限定されない。例えば、本発明は電子ビームやイオンビームを試料上で走査した際2次電子を検出するようにしたが、反射電子や反射イオン等を検出し、その検出信号に基づいて像の表示を行うようにしても良い。また、試料の加工断面を小さな電流量のイオンビームの走査によって表面処理を行う場合、選択性のあるガスをその部分に導入すれば、より化学処理したものと同等の断面像を得ることができる。

【0044】

【発明の効果】以上説明したように、第1の発明では、比較的大きな電流量のイオンビームを試料に照射して試料をエッチングして加工し、加工後試料を回転と傾斜させて加工断面をイオンビームに対面させ、加工断面に比較的小さな電流量のイオンビームを照射し、その後試料を回転と傾斜させて加工断面の走査電子顕微鏡像を観察するようにしたので、加工断面の選択的なエッチングを行うことができ、十分なコントラストの解像度の良い像を得ることができる。

【0045】第2の発明では、第1の発明において、試料のエッチング加工後の加工断面上でイオンビームを走査し、この走査に基づいて得られた信号によりSIM像を観察するようにしたので、加工断面の選択的なエッチングを行う領域を画像を観察しながら行うことができる。

【0046】第3の発明では、第1の発明において、加工断面に比較的小さな電流量のイオンビームを照射する際、イオンビームを所定領域で走査させ、この走査を所定領域の上から下、下から上に双方向に走査するようにしたので、走査領域の上下のエッチングされる深さを一定に保つことができる。

【0047】第4の発明では、第1の発明において、比較的大きな電流量のイオンビームを試料に照射して試料をエッチングして加工し、加工後試料を180°回転させ、比較的大きな角度傾斜させて加工断面をイオンビームに対面させるようにしたので、大きな電流量のイオンビームでエッチング加工した断面を小さなイオンビームを用いて微細なエッチングを行うことができる。

【0048】第5の発明では、比較的大きな電流量のイオンビームを試料に照射して試料をエッチングして加工し、加工後試料を回転と傾斜させて加工断面をイオンビームに対面させ、加工断面に比較的小さな電流量のイオンビームを照射し、その後試料を回転と傾斜させて加工断面の走査電子顕微鏡像を観察することが可能となるので、第1の発明と同様な効果が達成される。

【0049】第6の発明では、第5の発明において、試料の回転と傾斜によってもイオンビームと電子ビームの

照射領域が変化しない機能を備えたので、面倒な試料の位置合わせを行う必要がない。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に基づくFIB-SEM装置を示す図である。

【図2】試料の加工断面を示す図である。

【図3】試料の回転と傾斜を行った後の試料とFIBカラム、SEMカラムとの関係を示す図である。

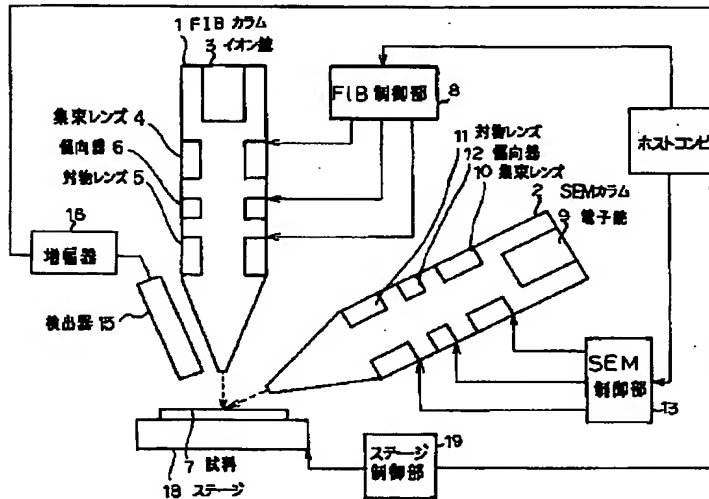
【符号の説明】

- 1 FIBカラム
- 2 SEMカラム
- 3 イオン銃
- 4, 10 集束レンズ

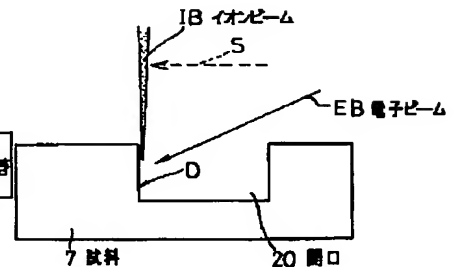
- \* 5, 11 対物レンズ
- 6, 12 偏向器
- 7 試料
- 8 FIB制御部
- 9 電子銃
- 13 SEM制御部
- 14 ホストコンピュータ
- 15 2次電子検出器
- 16 増幅器
- 10 17 陰極線管
- 18 ステージ
- 19 ステージ制御部

\*

【図1】



【図2】



【図3】

